ACADEMIA ROMÂNĂ

INSTITUTUL DE MECANICA SOLIDELOR

CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND CONTROLUL SISTEMELOR MECANICE DE POZIȚIONARE CU PRECIZIE RIDICATĂ

TEZĂ DE DOCTORAT

CONDUCĂTOR ŞTIINŢIFIC
Prof. dr. ing. Luige Vlădăreanu

DOCTORAND
Ing. Daniel OctavianMelinte

1.Introducere

De-a lungul timpului s-au folosit diferite tipuri de mecanisme de poziţionare cu precizie ridicata, printre printre cele mai performante fiind manipulatoarele şi roboţii industriali, punându-se accent în ultimul timp pe precizia de pozitionare, corelata cu interactiunea in mediu virtual, in vederea redării haptice a contactului obiect-mediu operational, in scopul utilizarii lor in operații care necesită o acuratețe ridicată, cum ar fi teleoperarea in medii periculoase, interacțiuni haptice in domeniul medical, nanorobotică etc. Teza de doctorat va aborda metodele de control pentru sistemele mecanice de pozitionare cu precizie ridicata in corelatie cu metodele de control în forţă prin redarea haptică a interactiunii in mediu virtual, avand ca scop dezvoltarea unor legi de control de foarte mare acuratete in ceea ce priveste urmarirea traiectoriei spre țintă, ocolirea sau depasirea obstacolelor in funcție de mediul de lucru si a preciziei de poziționare,cu impact în cercetarea științifică in domenii de vârf cum ar fi teleoperarea chirurgicală bilaterală, robotizare pentru chirurgia laparoscopică, roboți de salvare cu functionare in medii de risc pentru viața oamenilor si hazard ridicat, transport materiale nucleare prin teleoperare, nano-manipulatoare in operații de realizare de materiale nano-compozite, metamateriale.

Teza abordează studierea controlului mecanismelor de poziționare, pentru îmbunătățirea preciziei de poziționare, utilizâdu-se controlul în forță deoarece sistemele luate în considerare efectuează mișcări complexe care necesită informații precise atât din punct de vedere cinematic, cât și din punct de vedere dinamic.

Logica Neutrosofica este o metodă inteligentă dezvoltată de Prof. Florentin Smarandache care se bazeaza pe fuziunea informatiilor provenite de la diversi observatori (senzori) și care aduce o îmbunătățire metodelor decizionale, cum ar fi Logica Fuzzy, prin introducerea valorilor de incertitudine si contradictie, crescandu-se astfel acuratetea deciziei.

Metoda proiectiei virtuale presupune interfațarea virtuală a unor sisteme robotice prin intermediul cărora se realizeaza interacțiunea dintre un mediu virtual si unul real prin utilizarea unor legi de control implementate in controlerul robotului (manipulatorului) si vizualizarea miscarii acestuia cu ajutorul unui sistem video, utilizarea acesteia in complianță cu interfațarea haptică conducând la îmbunătățirea modului în care se face controlul unor sisteme cu precizie ridicată. Suplimentar legilor de control inteligente dezvoltate prin intermediul proiecției virtuale, ne propunem implementarea legilor de control in admitanta si in impedanta care impreuna cu legile deja implementate prin această metodă să conducă la o interfațare haptica inovativă si cu rezultate foarte bune in aplicații care necesită raspuns tactil si vizual de mare fidelitate.

Îmbunătățirile aduse prin această teză de doctorat si publicate de autor [15, 18, 27, 28] sunt superioare rezultatelor deja existente și diseminate în lucrări BDI sau ISI și se remarcă prin faptul că sunt originale, fiind recunoscute prin publicarea rezultatelor în conferințe internaționale ce au avut loc în Penang(Malaezia), Corfu, Paris, Bucureşti, în reviste indexate ISI și BDI și prin premiile și medaliile de aur obținute la manifestări care s-au desfașurat în străinatate, printre aceste numărându-se Expoziţiile Internaţionale din Geneva 2010 [Inventia „Method and Device for Dynamic Control of a Walking Robot" obținută la Salonul Internațional de Invenții, Geneva 2010, Patent nr. OSIM A/00052/21.01.2012, autori: Luige Vladareanu, L.M. Velea, R.A. Munteanu, T. Sireteanu, M.S.Munteanu, G.Tont, V.Vladareanu, C.Balas, D.G.Tont, Octavian Melinte, Alexandru Gal.], Moscova 2010 [Diplomă pentru invenţia „Method and Device for Dynamic Control of a Walking Robot" obţinută la Moscova în septembrie 2010, Bucureşti 2010 [Medalie de Aur obţinută pentru inventia „Method and Device for Dynamic Control of a Walking Robot", International Exhibition of Invention, Bucureşti 2010, Varşovia 2009 [Medalie de Aur obţinută pentru inventia „Method and Device for Dynamic Control of a Walking Robot" la Salonul International de Inventii, Varsovia 2009.

Teza de doctorat abordează un domeniu nou și aflat într-o continuă schimbare, care preocupa o multitudine de echipe de cercetare din întreaga lume, existând un număr important de lucrări, indexate BDI sau ISI, care cercetează problemele mecanismelor de poziționare cu precizie ridicata cu interfațare haptică.

Pe durata tezei de doctorat, cercetările mecanismelor de poziționare cu precizie ridicată și rezultatele obținute s-au realizat în colaborare cu universităţi din străinătate precum Universitatea din Gallup New Mexico, SUA; Yanshan Univeristy of China, Chinease Academy of Science, Stafford University, UK.

Rezultate obţinute de autor în perioada stagiului doctoral sunt foarte importante deoarece aduc îmbunătățiri actualelor sisteme mecanice de poziționare, prin utilizarea conceptului de neutrosofie, concept care are la baza logica fuzzy dar care, prin introducerea a înca doi termeni probabilistici (incertitudinea și contradicția) reușește să rezolve mai bine problemele care pot apărea în momentul contactului sau probleme referitoare stabilitatea sistemelor dinamice. Importanţa şi corectitudinea lor, a fost validată prin diseminarea acestora în cadrul a numeroase manifestări ştiinţifice naţionale şi

internaţionale, prin publicarea lor în reviste ştiinţifice prestigioase sau prin obţinerea de brevete de invenţie naţionale şi europene. De asemenea, au existat mai multe colaborări realizate cu universităţi din întreaga lume, rezultând publicarea în comun cu autori din ţară şi străinătate, precum Prof. Hongnian Yu, de la Bournemouth University UK, Prof. Hongbo Wang de la Yanshan University of China [15,16], Prof. Radu Ioan Munteanu, de la Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca [17, 18, 19].

Cercetările realizate au fost susţinute de proiectul de cercetare „Cercetări fundamentale şi aplicative pentru controlul hibrid forţă-poziţie al roboţilor păşitori modulari în sisteme cu arhitectură deschisă", ID 005/2007-2010, Programul IDEI,coordonator program UEFISCDI din Programul National de Cercetare Dezvoltare PN II al Autoritatii Naţionale de Cercetare Ştiinţifică – ANCS, coordonator proiect Profesorul Luige Vlădăreanu, în care am participat ca membru în realizarea contribuţiilor de cercetare ştiinţifică. Rezultatele cercetărilor au fost publicate în mai multe articole [19, 20, 26] şi brevete de invenţie (EP2384863-A2 din 09.11.2011) [„Method and Device for Walking Robot Dynamic Control", PATENT: OSIM A/00052/21.01.2010, autori: Luige Vladareanu, Lucian Marius Velea, Radu Adrian Munteanu, Tudor Sireteanu, Mihai Stelian Munteanu, Gabriela Tont, Victor Vladareanu, Cornel Balas, D.G. Tont, Octavian Melinte, Alexandru Gal. , 2. „Haptic interfaces for the rescue walking robots motion in the disaster areas", Luige Vladareanu, Octavian Melinte, Adrian Bruja, Hongbo Wang, Xiaojie Wang, Shuang Cang , Hongnian Yu, Zeng-Guang Hou, Xiao-Liang Xie, 2014].

De asemena, am participat ca membru în echipa de cercetare în cadrul proiectului "Interfețe haptice reconfigurabile utilizate în reproducerea contactului dinamic – Dezvoltari teoretice si experimentale", PN-II-PT-PCCA-2011-3.1-0190, Contract 149/2012, finanatat de CNCSIS, coordonator proiect: Dr. Ligia Munteanu, Institutul de Mecanica Solidelor al Academiei Române, rezultatele cercetărilor fiind publicate în mai multe articole [21-25].

În anul 2011 a fost încheiat un contract de colaborare cu Profesorul Florentin Smarandache, fondatorul teoriei neutrosophice şi autorul teoriei Dezert Smarandache (DSm), de la Gallup University, New Mexico SUA, teorii care au fost implementate în teza de doctorat pentru determinarea contactului dintre un sistem de poziționare cu precizie ridicata și un obiect întâlnit într-un mediu virtual sau real.

În această lucrare sunt dezvoltate metode şi concepte originale care permit obţinerea de performaţe ridicate în determinare contactului folosind mecanisme de poziționare cu interfațare haptică prin aplicarea logicii neutrosophice şi a teoriei DSm. Acestea au fost publicate în mai multe articole [26-32].

În anul 2012, s-a început colaborarea de cercetare aplicativă în cadrul proiectului european FP7, IRSES, RABOT „Real-time adaptive networked control of rescue robots" cu Bournemouth University din UK, coordonator de proiect şi partenerii de proiect Staffordshire University din UK, Shanghai Jiao Tong University, Institute of Automation Chinese Academy of Sciences, Yanshan University din China, în care coordonator de proiect este Prof. Hongnian Yu de la Bournemouth University din UK, coordonator din partea Institutului de Mecanica Solidelor al Academiei Române este Profesorul Luige Vladareanu, la care am participat ca membru în colectivul de cercetare. Prin acest proiect, s-a început o colaborare între colectivele de cercetare ale partenerilor de proiect, având rezultate comune care sunt în curs de publicare și brevete de invenție înregistrate la OSIM.

Particip ca membru in echipa de cercetare a proiectului international "Research on human multi-joint arm information based bio-robot for telerobotics" coordonat de Tokyo University, cu parteneri din Bournemouth University (UK), Pascal Institute at the French Institute for Advanced Mechanics (Franța), Imperial College London (UK) propus in luna mai 2014 pentru finatare din programul japonez "Brain Circulation".

În urma cercetărilor realizate pe parcursul programului doctoral s-au adus îmbunătățiri controlului mecanismelor de poziționare cu precizie ridicata prin utilizarea mai multor teorii care pot fi implementate cu succes. Printre acestea se evidenţiază implementarea teoriei neutrosofice pentru comutarea între legile de control, utlizarea metodei proiecţiei virtuale prin introducerea unor noi interfețe de control, cum ar controlul în impedanță și admitanță, îmbunătățirea controlului mecanismelor de poziționare folosind grafurile Bond, sau compensarea elementelor dinamice ale acestor mecanisme prin implementarea unor metode inteligente în bucla de control. Toate acestea conduc la creşterea performanţele de control, fiind prezentate pe larg în teză, împreună cu ecuaţiile matematice şi acolo unde este cazul, algoritmii de conducere în timp real a unui robot mobil păşitor.

2. Stadiul actual al cercetărilor privind controlul sistemelor mecanice de pozitionare cu precizie ridicată si prototiparea virtuala.

În centrul dezvoltării unor asemenea mecanisme utilizate pentru interfaţarea haptică este crearea unor interfeţe forţă-poziţie "realistice" cu mediu virtual. Calitatea unor astfel de interfeţe este reflectată de "precizia" impedanţei, care se referă la cât de mult se apropie impedanţa de cea a mediului virtual, şi de „rezoluţia" sau „fidelitatea" impedanţei , care se referă la nivelul sensibilităţii care poate fi detectată la interfaţa haptică.

În acest capitol s-au analizat cercetările și dezvoltările deja existente, acestea stând la baza elaborării legilor de control și a metodelor decizionale inovative utilizate atât în platforma de simulare cât și pe stadul experimental. În urma studierii controlului în impedanță și admitanță a sistemelor haptice, a compensării parametrilor dinamici, interacțiunea dintr-un mediul virtual și a logicii neutrodofice, au fost alese strategiile optime implementate în sistemul de control al mecanismelor de poziționare dezvoltat în această teză.

3. Probleme specifice ale structurii, cinematicii şi dinamicii sistemelor mecanice de pozitionare cu precizie ridicata.

Un mecanism de poziționare cu precizie ridicata este format din mai multe lanțuri cinematice seriale sau paralele, unite între ele de un corp rigid sau articulat, prin intermediul unor articulaţii. Având în vedere că această lucrare studiază utilizarea acestor mecanisme în aplicații cu interfețe haptice, acestea pot fi de mai multe tipuri: instrument, exoschelet sau lanțuri cinematice seriale și pot avea multiple grade de libertate dar cel mai des întâlnite sunt cele cu trei grade de libertate datorită capacității acestora de a acoperi o mare parte a spațiului de lucru. De asemenea pentru testarea anumitor legi de control se apelează, în simulări și validări, la structuri cu un grad sau doua de libertate deoarece erorile cinematice si dinamice sunt mai puține, stabilitatea este ușor de realizat iar timpul de calcul si controlul în timp real sunt mult mai rapide. În dezvoltarea ulterioară se va lua în cosiderare utilizarea unor mecanisme cinematice seriale cu trei grade de libertate.

Cinematica directă a presupus determinarea poziției si orientării efectorului final în funcție de unghiurile din articulație și de translațiile sistemului în raport cu baza manipulatorului/robotului.

Spre deosebire de cinematica directă care presupune obținerea poziției și a orientării efectorului final în spațiul operațional cunoscându-se valorile unghiurilor din articulațiile manipulatorului/robotului, cinematica inversă își propune să determine modul în care variază unghiurile din articulații având ca date de intrare poziția și orientarea efectorului final.

Dacă în cazul cinematicii directe, calcul este forte clar și relativ simplu, cinematica inversă propune mai multe metode datorită faptului că pentru un anumit punct sau traiectorie în spațiul operațional există mai multe soluții de urmărire sau de atingere a acestora. Pentru a nu complica foarte mult algoritmul de calcul al cinematicii inverse se alege soluția minimă sau optimă.

Există mai multe metode de calcul a cinematicii inverse, acestea presupunând printre altele folosirea matricei Jacobi inverse, a matricei Jacobi pseudoinverse, a matricei Jacobi transpusă sau utilizarii retelelor neuronale. Aceste metode prezintă anumite dezavantaje precum apariția singularităților, ca în cazul matricei Jacobi inversă, a unor erori de poziționare mari, dacă se utitizează matricea peusdo-inversă Jacobi sau a unei urmăriri lente a traiectorie de referință cu matricea Jacobiană transpusă. În cazul utlizării rețelelor neuronale există o singură soluție pentru un punct în spațiul operațional.

În acest capitol se face un studiu comparativ între calculul cinematicii inverse prin intermediul rețelelor neuronale și calculul cinematicii inverse prin folosirea Jacobianului transpus, folosind-se același mecanism.

Cinematică inversă pentru dispozitivul paralel este calculată folosind Jacobianul transpus, iar diferența care apare în bucla de control cinematică este aceea că poziția generată de traiectoria de referință și poziția reală calculată prin metoda Denavit-Hartenberg sunt comparate iar eroarea rezultată este trimisă mai departe către o funcție Matlab care calculează cinematica inversă, având ca date de intrare Jacobianul calculat pornind de la matricea de orientare a dispozitivului și eroarea rezultată în urma comparației celor doua poziții, la ieșire obținându-se diferența unghiulară care este trimisă controllerului motorului.

În cel de-al doilea caz se vor utiliza rețelele neuronale care vor fi antrenate cunoscându-se cinematica directă a mecanismului, rezultând raportarea fiecărei poziții din spațiul de lucru a efectorului final calculată cu cinematica directă, a unghiurilor mecanismului din acel moment astfel apărând o raportare dintre unghiurile din articulații și poziția efectorului final al mecanismului.

Dezavantajul unei astfel de soluții este că, pentru o poziție în spațiul operațional,se determină o singură soluție a perechilor de unghiuri ale unui mecanism, deși pentru un punct în spațiul de lucru există o infnitate de soluții.

În timp de ecuaţiile cinematice descriu structura şi mişcarea manipulatorului haptic, acestea nu iau în consideraţie parametrii ce apar datorită forţelor şi momentelor din dispozitivul mecanic. De aceea, se folosesc ecuaţiile ce descriu dinamica unui robot, pentru a descrie explicit relaţia dintre forţele de acţionare şi mişcarea robotului. Aceste ecuaţii sunt importante în realizarea şi conceperea mecanismelor de poziţioanre, precum şi în simularea şi animarea lor [91-93].

Ecuaţiile Euler-Lagrange asigură o formulare a ecuaţiilor dinamice ale mişcării echivalentă cu cele descrise de Legea a doua a lui Newton. Abordarea Euler- Lagrange este mai avantajoasă pentru sisteme mult mai complexe cum ar fi roboţii cu mai multe segmente unite prin intermediul articulaţiilor.

Analizând, în acest capitol, problemele cinematice și dinamice specifice mecanismelor de poziționare am determinat soluțiile ce urmează a fi folosite mai de parte în teză în vederea elaborării strategiilor de control și a implementării acestora în platforma de validări și simulări din Matlab și pe standul de încercări experimentale. Astfel pentru modelarea cinamaticii inverse am concluzionat că cea mai eficientă soluție este calculul pri intermediul rețelelor neuronale, în timp ce pentru reprezentarea din punct de vedere dinamic al structurii mecatronice se utilizează ecuațiile Euler-Lagrange.

4. Elaborarea unor strategii privind controlul sistemelor mecanice de pozitionare cu precizie ridicata.

4.1. Metoda proiecției virtuale aplicată pentru controlul sistemelor mecanice cu precizie ridicata utilizate în interfațarea haptică

Metoda proiecției virtuale este un concept inovativ care înglobează mai multe tipuri de control care conclurează în obținerea precisă în timp real a unei aplicații care include utilizarea unor roboți sau a unor mecanisme de poziționare de precizie ridicată [68, 70]. O reprezentare a modului cum fucționează această metodă este reprezentat în figura 4.1.1.

În esență, sunt trei mari blocuri interconectate între ele:

- sistemul de control cu arhitectura deschisa (OAH), care conţine sistemul de control classic a structurii mecanice (SCMC) și interfeţele inteligente de control (CA)prin care se implementează funcțiile de control și metodele de alegere a funcților de control.

- robotul sau mecanismul de poziționare, care poate fi, de asemenea, echivalat cu un sistem prevăzut cu servomotoare de acționare și motoare de sarcină, astfel încât să simuleze cît mai fidel un sistem real. Acest sistem este dotat cu traductoare de poziție, de forță, camera video, giroscoape si tot ce este nevoie pentru a sesiza cît mai fidel interacțiunea cu mediul și pentru a avea un răspuns în bucla de control astfel încât să se depisteze erorile apărute.

- interfaţa de vizualizare (ICV)și de redare virtuală (TGC) a funcţiilor sistemului mecatronic, unde se poate reda mișcarea efectuată în mediul de lucru de către un robot sau de un mechanism de poziționare, cu control în timp, pe un calculator ce primește informații de la sistemul de control cu arhitectura deschisa (OAH).

Aceste trei mari blocuri interacționează între ele și prioritizează procesarea informațiilor astfel încât să se obțină un control în timp real al unor mecanisme de poziționare și o vizualizare aproape de realitate a operației desfășurate. În acest sens, controller-ul va primi informații din mediul de lucru: pozițiile motoarelor, pozițiile efectorului final, forța din efectorul final sau din articulații, informații video, informații de la giroscoape, accelarațiile, iar în funcție de acestea va alege metoda de control care se potrivește cel mai bine în acel moment, generând la ieșire cuplurile τ, τ_d sau vitezele necesare pentru motoarele din articulațiile mecanismului și poziția diferitelor elemente componente ale mecanismului în vederea vizualizării acestora pe interfața grafică. O altă operație foarte importantă din cadru acestui nivel este selecția modului în care se va realiza controlul, aceasta efectuându-se prin utilizarea logicii neutrosofice de luare a deciziei.

Odată preluate informațiile de cuplu sau viteză de la interfețele de control, motoarele din articulații vor realiza mișcare impusă iar mecanismul va răspunde cu informații din mediul de lucru pe care le va trimite controller-ului în vederea ajustării erorilor care pot apărea. Pe acest nivel va exista și un control local realizat prin intermediul convertizoarelor de frecvență astfel încât mișcarea de rotație a motoarelor să fie realizată foarte precis. De asemenea, terminalul grafic va primi informațiile necesare de la controller astfel încât să genereze o simulare vizuală a operației în timp real.

Ca un rezultat al amplificărilor destul de mari ale buclei interne de control-poziţie, perturbaţiile nonliniare cauzate de dinamica naturală a dispozitivelor este compensată eficient.

Pe lângă implementarea celor doua legi de control, în impedanță și în admitanță, se introduce și o metodă inteligentă de alegere a tipului de control necesar, această trecere între metode fiind realizată prin folosirea logicii neutrosofice. Astfel pentru neutrosoficarea datelor de intrare în această lege se vor seta procentele de adevăr, falsitate și incertitudine ale datele necesare în dezvoltarea aplicației, acestea având rolul de observatori: forțe de contact, poziției a efectorului final, informații video, accelerații ș.a.m.d. Având aceste date neutrosoficate, se va trece la pasul următor de calculare a maselor de adevăr, falsitate, incertitudine și contradicție prin intermediul legii de calcul DSm, acestea fiind deneutrosoficate, în ultima etapă a acestui

proces, acestea vor fi interpretate pentru a determina legea de control care se potrivește cel mai bine în acel moment de timp.

4.3. Modelarea interfetelor haptice prin intermediul grafurilor Bond

Una dintre cele mai bune metode de a simula un sistem mecanic sau electric o reprezintă metoda grafurilor Bond. Această metodă, este una laborioasă, utilizată pentru a reprezenta un sistem ce trebuie condus necesitând studiu, cercetări şi experimentări minuţioase pentru a reuşi realizarea unui asemenea graf. În schimb avantajele oferite de folosirea grafurilor Bond conduc către realizarea de sisteme simulate prin abstractizarea anumitor subseturi ale atributelor unui model [72].

Rezultatele obținute oferă o imagine de ansamblu despre modul în care se desfășoară o operație folosind mecanisme de poziționare în interfețele haptice, urmând ca în capitolele următoare, în care se vor elabora strategii de control mai complexe, să se țină cont de aceste date.

Grafurile Bond, reprezintă o metodă eficientă în testarea și simularea controlului mecanismelor de poziționare, rezultatele obținute evidențiind detectarea returului de forță din mediul simulat și apariția unor devieri de la traiectoria de referință a efectorului final cauzate de această forță.

4.4 Controlul in mecanismelor de poziționare prin compensarea elementelor dinamice

Modul în care se face controlul unui dispozitiv haptic este foarte important deoarece mişcările utilizatorului nu trebuie să fie restricţionate în nici un fel, iar în momentul în care acesta intalneste un obstacol sau manevrează un obiect, utilizatorul trebuie să perceapă cât mai fidel interacţiunea, din această cauză elementele dinamice ale mecanismului haptic trebuie influențeze cît mai puțin operația, necesitând ca acestea să fie, astfel, compensate. Astfel, un sistem haptic care nu compenseaza elementele dinamice are anumite probleme de stabilitate din cauza inerţiei mari şi a mediului rigid. De asemenea pentru rezolvarea acestor probleme mai trebuie introduse anumite bucle de compensare care să reducă sau să elimine fortele de frecare (statice si Coulomb) si gravitatia.

Analizând strategiile de control prezentate anterior pentru compensarea elementelor dinamice se constată ca strategia de control în impedanţă utilizând un compensator Zc asigura cele mai ridicate performante de pozitionare.deoarece acesta reduce foarte bine influența pe care elementele dinamice ale mecanismului o au asupra operației întreprinse. Dacă din punct de vederea al inerțiilor și al forțelor de gravitație nu va fi o problemă în realizarea acestei compensări, în ceea ce privește forțele de frecare ce vor apărea, problemele de estimare ale acesteia sunt mult mai complicate și necesită o evaluarea a modului în care acestea pot fi determinate.

Strategia de control a mecanismelor de pozitionare prin compensarea elementelor dinamice a fost implementata in capitolul 5 in blocul de compensare a parametrilor dinamici cu arhitectura sistemului prezentata in fig. 5.1 care a condus la obtinerea unor performate ridicate privind precizia de urmarirea traictoriei, robustetii sistemului de control si repetabilitatii miscarii in mediul virtual.

4.5. Logica neutrosofica utilizată în controlul interfețelor haptice

În vederea realizării unei interacțiuni care să redea cât mai fidel o situație reală, este necesară calcularea cât mai precisă a forțelor de reacțiune provenite din mediu astfel încât utilizatorul să primească informațiile de forță cu o precizie cât mai mare. Deoarece estimarea contactului dintre efectorul final si obiectul întâlnit poate fi dificilă în diferite situatii (urmarirea unor suprafete care prezinta goluri de dimensiuni mici, marginile unor obiectelor cu multe neuniformitati, etc) este nevoie de mai multe informatii provenite de la observatori diferiti, urmand ca utilizand legea de calcul DSm privind neutrosoficarea datelor sa obtinem o fuziune a acestora astfel încât operația realizată să fie cât mai precisă.

Neutrosofia poate fi considerată ca o teorie ce caracterizează mai bine lumea și probabilitatea ca un eveniment să se întâmple deoarece introduce, spre deosebire de logica fuzzy, de exemplu, și o valoare de incertitudine, deoarece sunt foarte mult momente în care nu se cunosc valorile de adevăr și falsitate. De exemplu, dacă vom considera U ca fiind un spaţiul de lucru sau universul de lucru, considerăm un set Neutrosophic S inclus în U. Dacă luăm un element x din U, atunci îl putem scrie în raport cu multimea S astfel: x(T, I, F). Acest element x va aparţine mulţimii S cu următoarele proprietăţi: x se ştie că este în mulţimea S cu o probabilitate de t% (procentajul de adevăr); x nu se ştie că este în mulţimea S cu o probabilitate de i% (procentajul de incertitudine); şi x se stie că nu este în mulţimea S cu o probabilitate de f% (procentajul de falsitate). Aceste valori ale probabilităţilor t%, i% şi f% variază în intervalele T, I şi F, acestea nefiind neaparat

intervale dar poti subseturi discrete sau continue sub-unitare, mulţimi sau intervale, dar în mod dinamic acestea pot fi funcţii sau operatori, depinzând de diverşi parametrii.

În intervalul de timp t=[5.2-5.5] se remarcă, un aspect important care este introdus prin Legea Neutrosofică. între momentele t=4-5.8 are loc un contact, dar probabilitatea de adevăr rezultată prin calculul DSm, prezentat nu are valoarea „1" pe tot acest interval, ci are o discontinuitate în intervalul de timp t=[5.2-5.5]. Acest fapt se datorează, modelării traiectoriei de referință a efectorului final, care scade foarte mult pe acest interval, ajungând la valoarea zero. Astefel, forța de reacție care este modelată în funcție de poziția efectorului final va ajunge, de asemenea, la valoarea zero. Din acest motiv, legea de calcul furnizează o contradicție deoarece senzorul de proximitate detectează un contact, în timp ce senzorul de forță nu observă acest lucru. Această problemă poate fi evitată dacă funcțiile care urmează a fi neutrosoficate și care sunt interdependente sunt modelate evitându-se punctele de singularitate.

Prin comparație, logica Fuzzy nu poate sesiza în acest caz doua contacte diferite dacă acestea au loc într-un interval scurt de timp (o zecime de secundă în cazul nostru), interpretând aceste valori ca având continuitate între ele. Întârzierile în detectarea fiecărui contact apărut pe parcursul desfăşurării unei operații, dintre logica Fuzzy și cea Neutrosofică; dacă la început întârzierea este de o 100ms, la următoarele contacte detectarea se face după aproximativ 200ms. De asemenea, Logica Neutrosofică reușește să detecteze cu exactitate apariția fiecărui contact, în timp ce logica Fuzzy nu reușește acest lucru tocmai datorită întârzierilor în sesizarea unor evenimente, aceasta nereuşind detecția fiecărui contract dacă acestea au loc la un interval mai mic de 200ms, interpretându-le ca un contact unitar.

Performantele ridicate în detectarea contactului și urmarirea returului de forță dintre obiect si efectorul final dezvoltate in mediul virtual si a unui timp de raspuns redus obtinut din mediu virtual in controlul haptic prin aplicarea Logicii Neutrosofică raportat la logica Fuzzy au condus la dezvoltarea, in capitolul 5, a metodelor neutrosofice de control in timp real pentru detectarea contactului utilizate ca module decizionale între controlul în impedanță și cel în admitanță.

5. Platforma de simulare a sistemelor mecanice de pozitionare cu precizie ridicata cu interfete haptice

Pentru testarea și simulărea legilor de control descrise în capitolele anterioare, împreună cu aplicarea logici neutrosofice de comutare între acestea, s-a ales mecanismul haptic descris in capitolul 3, ale carui elemente cinematice și dinamice satisfac necesitățile aplicației dezvoltate. Dispozitivul haptic este integrat în schema generală de control a interfetei haptice prezentată în figura 1.

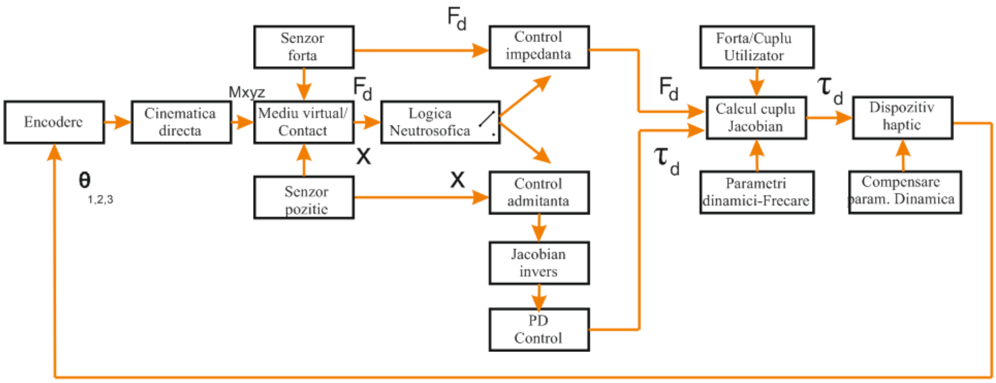


Fig.1. Schema generală a controlului haptic în impedanță și admitanță pe baza deciziei neutrosofice

Pentru testarea performanțelor controlului haptic într-un program de simulare în vederea obținerii de rezultate cât mai apropiate de o situație reală, acest sistem se modelează cu ajutorul interfețelor haptice care țin cont de semnalele discretizate provenite de la encoderele celor trei motoare, acestea urmând să fie derivate cu ajutorul unui bloc de derivare discretizată utilizat împreună cu Jacobianul invers pentru calculul vitezei de variație a efectorului final.

În urma implementării strategiilor de control descrise în capitolul patru și a logicii neutrosofice pentru comutarea dintre acestea s-a observat că determinarea forței fără utilizarea logici neutrosofice nu este exactă deoarece, forța apare înainte ca interacțiunea să aibă loc, iar acest lucru se resfrânge și în calcularea cuplului la momentul respectiv, aparând erori în apropierea momentului în care are loc contactul. Rezultatele grafice din acest capitol au fost obținute prin simularile experimentale pentru controlul haptic al sistemelor mecanice cu precizie ridicata prezentată în anexa 3.

Logica neutrosofică detectează cu precizie bună momentul apariției unui obstacol (10 ms), erori mai mari (50 ms) aparând în momentul dispariției primului și ultimului contact, comutarea modului în care are loc controlul fiind efectuată rapid, de ordinul zecilor de ms. O comutare atât de rapidă este necesară atunci când s dorește controlul în timp real al mecanismelor de poziționare.

Platforma de simulare a sistemelor mecanice de pozitionare cu precizie ridicata cu interfete haprice a fost realizată prin implementarea controlului în impedanță și admitanță pentru creșterea preciziei mecanismelor de poziționare. Deoarece simularea unui eveniment într-un mediu presupune doua etape distincte, detectarea unui contact şi mişcarea liberă în spaţiu, modul în care se face controlul mecanismului de poziționare presupune doua abordări diferite, controlul în impedanță atunci când este sesizat un contact în mediu sau controlul în admitanță atunci când nu există un retur de forță din mediu. Controlul în admitanță este utilizat, în detrimentrul unui unui control PID,PD sau alt timp de control în poziție, deoarece în există o întârziere din partea sistemului de comandă, în momentul deciziei neutrosofice de comutare între cele două tipuri de control. Având în vedere că un control în admitanță presupune, la fel ca și controlul în impedanță, caracterizarea a mediului, trecerea de la un controlul în admitanță la cel în impedanță și invers are loc ținându-se cont de parametrii mediului. De asemenea, în cazul în care are loc un control în admitanță și din diferite cauze apare o eroare în detecția unui contact de către unul din senzorii de forță sau poziție, mecanismul de pozițioanre poate urmării traiectoria de referință .

Utilizarea metodei proiecției virtuale prin implementarea interfețelor de control în impedanță și în admitanță și a unei intefețe decizionale bazate pe logica neutrosofică de comutare între acestea, îmbunătățește semnificativ precizia mecanismelor de poziționare atât din punct de vedere al vizualizării operației cât și din punct de vedere al detectării cu exactitate a unor evenimete. Cuplul transmis motoarelor depinde de modul în care se desfăşoară operaţia. În momentul în care traiectoria efectorului final întâlneşte un obstacol şi este realizat un control în impedanţă, are loc o creştere a cuplului transmis către cele trei motoare, iar pe perioada în care efectorul final urmăreşte o traiectorie continua, realizându-se un control în admitanţă, cuplul este liniar.

Utilizarea compensării paramatrilor dinamici prin intermediul rețelelor neuronale aduce o îmbunătățire în redarea reală a unei operații realizate, prin caracterizarea forței de frecare și prin eliminarea efectelor gravitaționale din răspunsul dinamic al sistemului.

6. Cercetări experimentale folosind standul PLC și convertizoare de frecvență

În vederea validării legilor de control prezentate si simulate anterior în teză, în special controlul în impedanță și admitanță împreunea cu legea de comutare dintre acestea, se va folosi un stand de teste dotat cu automate programabile (PLC-uri), covertizoare de frecvență și servomotoare, ce a fost dezvoltat în cadrul proiectului de cercetare „Cercetări esenţiale şi aplicative pentru controlul poziţiei al roboţilot păşitori HFPC MERO”, ID 005/2007-2010, din programul IDEI, finanţat de către Autoritatea Naţională pentru Cercetare Ştiinţifică, coordonator proiect Prof. Vladareanu, la care autorul a participat în cadrul echipei ce a realizat acest proiect.

Strucutura mecanică a mecanismului de poziționare luată în considerare în această teză, este cea de la capitolul 5 dar, deoarece nu am putut efectua încercări pe o structură similară, legile de control au fost testate pe stand-ul PLC pe care l-am avut la dispozitie în laborator. Elemenetele dinamice ale acestei structuri pot fi compensate în bucla de control, astfel putându-se testa legile de control dezvoltate în teză și pe o altă structură mecanică. Ceilalţi parametri dinamici, precum greutatea picioarelor, inerția sistemului de poziționare, etc. sunt luate în considerare în cercetarea experimentală prin intermediul utilizării a trei motoare care îndeplinesc rolul de sarcină pentru cele trei motoare considerate ca facând parte din articulațiile mecanismului de poziționare a interfeței haptice.

Standul de încercări experimentale prezentat in figura 2 este compus din trei PLC-uri care comanda și monitorizeaza stările celor trei convertizoare de frecvență utilizate pentru controlul cât mai precis a celor trei servomotoare de curent continuu ce vor reprezenta cele trei articulații ale mecanismului de poziționare pentru interfețele haptice. Aceste trei motoare nu vor funcționa în gol, ci li se vor atașa fiecăruia o sarcină prin atașarea la axului motorului a unui motor sarcina ce va fi comandat separat și care va reprezenta mișcarea unui braț al mecanismului de poziționare. De asemenea, pentru citirea datelor de la motoarele din articulații vom folosi trei encodere incrementale urmând ca valorile măsurate să fie transmise catre convertizorul de frecventa și mai departe către arhitectura PLC, astfel închizându-se bucla de control.

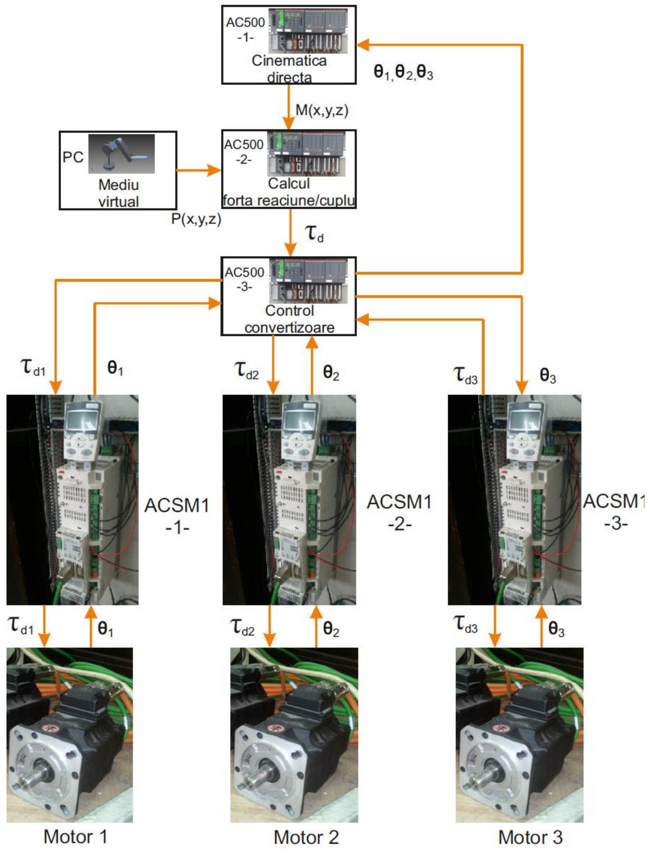


Fig. 2. Elementele componente ale schemei de control pentru experimentare

Cele trei automate programabile vor realiza fiecare următoarele operații: primul automat programabil va primi ca și date de intrare valorile poziției fiecărui motor și va furniza la ieșire vectorul de poziție în coordonate spațiale a efectorului final calculat prin intermediul relațiilor Denavit-Hartenberg în interiorul automatului. Al doilea automat va primi ca date de intrare coordonatele de poziție ale efectorului final și va avea ca ieșiri cuplurile necesare fiecărui motor. Acestea vor fi determinate de catre automatul programabil prin interpretarea forțelor pe fiecare axă ce vor rezulta în momentul în care are loc un contact. La rândul lor aceste forțe vor fi calculate tot în acest automat prin detectarea contactului dintre end-efectorul mecanismului de poziționare și funcția de reprezentare a mediului în care are loc operația, această funcție fiind implementată în acest PLC. Odată determinate cuplurile pentru fiecare motor acestea vor fi trimise ca date de intrare și ca funcții de referință în al treilea automat programabil care are rolul de controla într-o buclă internă motoarele prin intermediul convertizoarelor de frecvență. Vor exista trei convertizoare de frecvență care vor realiza controlul în cuplu al fiecărui motor. Aceste convertizoare vor primi referințele de cuplu din PLC și vor realiza controlul în cuplu al servomotoarelor. Motoarele vor comunica cu convertizoarele printr-o magistrală de date Fieldbus efectuând mişcarea de rotație dorită în funcție de comenzile în cuplu transmise de către convertizoare. Mişcările de rotație făcute de motoare vor fi discretizate în semnale electrice de poziționare cu ajutorul encoderelor incrementalale şi vor fi transmite ca date de intrare în convertizor pentru a realiza cît mai exact mişcarea dar şi la autmoatul programabil cu numarul trei pentru a închide bucla de control internă a celor trei convertizoare. Aceste semnale de poziționare vor fi trimise, la rândul lor, către primul PLC ca şi răspuns de poziție astfel închizându-se şi bucla de control în impedanță sau admitanță.

Pentru o mai buna evidețiere a erorilor dintre un sistem real și unul simulat s-a realizat o comparație între valorile rezultate prin calculul efectuat in Matlab și cel masurate în timp real pe standul experimental. Se evidențiează că deși rezultatele obținute prin simulare sunt destul de bune, implementarea legilor de control pe un model real este soluția care va furniza datele cele mai precise.

Utilizând echipamentele implemetate pe standul experimental pentru sisteme de pozitionare cu precizie ridicata cu interfeţe haptice s-a realizat programle de testare. Se considera aceeaşi parametri din platforma experimentala în care pentru simulare s-au generat referinţe pentru două articulaţii ale sistemului mecanic.

Deoarece prima articulaţie a robotului nu este supusă unor forţe gravitaţionale şi implicit inerţiile sunt mult reduse, rezultă controlul haptic in timp real cu precizie ridicata de poziţionare şi urmărire a traiectoriei de mişcare. În cele ce urmează vor fi prezentate graficele obţinute în urma experimentărilor folosind numai două din cele trei motoare.

Analizând datele obţinute, se observă îmbunătăţirea performanţelor măsurate, faţă de exeprimentările simulate cu MatLab Simulink. Aceasta înseamnă că programele de simulare încă mai au probleme de soluţionat, dar erorile mai mari obţinute în urma simulărilor, se datorează şi algoritmilor de calcul folosiţi în optimizarea ecuaţiilor de către platformele de simulare a sistemelor mecatronice.

Cuplul transmis motoarelor conduc la o mișcare cu erori mai mici deoarece semnalele analogice de la automatele programabile sunt transmise pe magistrala de comunicație către un convertizor de frecvență care spre deosebire de un reglulator PID, PD sau PI dintr-un program de simulare, realizează un control precis în timp real

Cuplul transmis motoarelor depinde de modul în care se desfășoară operația. În momentul în care traiectoria efectorului final întâlnește un obstacol și este realizat un control în impedanță, are loc o creștere a cuplului transmis către cele trei motoare, iar pe perioada în care efectorul final urmărește o traiectorie continua, realizându-se un control în admitanță, cuplul este liniar.

7. Contribuţii originale și concluzii.

În vederea atingerii scopului principal al acestei teze privind cercetările și experimentările controlului sistemelor mecanice de poziționare, s-a studiat un număr important de cercetări deja existente în acest domeniu, acestea fiind îmbunătățite semnificativ prin introducerea unor soluții inovative de comanda și control.

7.1. Concluzii privind controlul sistemelor mecanice de poziţionare cu precizie ridicata

Dezvoltarea platformei de simulare și experimentare pentru sisteme de poziţionare cu precizie ridicata cu interfeţe haptice a presupus realizarea unor soluții inovative care au contribuit la marirea preciziei mecanismelor de poziționare. Aceste soluții inovative implementează, în sistemul de control cu arhitectură deschisă, metoda proiecției virtuale prin control haptic în impedanță și în admitanță, împreună cu metoda neutrosofică de comutare între cele doua legi de control.

Utilizarea logicii neutrosofice pentru detectarea interacțiunii cu precizie ridicata dintre efectorul final si un obiect din mediul virtual permite creșterea preciziei în detectarea contactului datorită utilizării mai multor observatori, care prin fuziunea informațiilor ale probabilităţii de adevăr, falsitate, contradicție și incertitudine receptionate de la senzori, conduc la calculul probabilităților neutrosofice a starii sistemului de poziţionare cu precizie ridicata. Rezultate aduc îmbunătăţiri actualelor sisteme mecanice de poziționare, prin utilizarea conceptului de neutrosofie, concept care are la baza logica fuzzy dar care, prin introducerea a înca doi termeni probabilistici (incertitudinea și contradicția) reuşeşte să rezolve mai bine problemele din momentul apariției unui eveniment sau probleme referitoare stabilitatea sistemelor dinamice.

Utilizarea metodei proiecției virtuale, prin implementarea interfețelor de control haptic în impedanță și în admitanță și a unei intefețe decizionale bazate pe logica neutrosofică de comutare între acestea în sistemul de control cu arhitectură deschisă, care conține și alte metode de control, îmbunătățește semnificativ precizia mecanismelor de poziționare atât din punct de vedere al vizualizării operației cât și din punct de vedere al detectării cu exactitate a unor evenimete. Prin introducerea celor doua tipuri de control, această metodă poate fi implementată atât în operațiile care presupun utilizarea interfețelor haptice dar și în operații care implică interacțiunea cu diferite obiecte din mediul în care se deplasează un anumit robot.

Compensarea prin intermediul rețelelor neuronale a parametrilor dinamici care apar în schema de control în impedanţă îmbunataţeste performanţele de poziţionare şi urmarire a traiectoriei de mişcare al sistemelor mecatronice deoarece în interiorul buclei de control acești parametri sunt estimați sau compensați. Metoda este cu atăt mai importantă în momentul în care este necesară testarea unor legi de control al unor mecanisme de precizie ridicată, a căror modelare dinamică conduce la erori mari în urmărirea mișcării dorite.

Utilizarea grafurilor Bond, reprezintă o metodă eficientă în testarea și simularea controlului haptic în impedanţă al mecanismelor de poziționare, oferind o imagine de ansamblu despre modul în care se desfășoară o operație folosind aceste mecanisme de poziționare. Rezultatele obținute au evidențiat detectarea returului de forță din mediul simulat și apariția unor devieri de la traiectoria de referință a efectorului final generate de această forță.

Integrarea strategiei de control a robotului cu legaturi extensibile intr-o interfata de control inteligent. Prin aplicarea metodei proiectiei virtuala s-au obtinut deplasarea robotului extensibil pe terenuri in panta cu precizie ridicata, sub 0,1% din lungimea totala a piciorului extensibil, in conditii de stabilitate. Interfata de control inteligent a robotului cu legaturi extensibile asigura robustete si repatabilitate la miscarea pe panta cu platforma robot orizontala sau plan-paralela cu o suprafata de referinta.

Platforma de simulare pentru sisteme de pozitionare cu precizie ridicata cu interfeţe haptice a fost realizată prin implementarea controlului în impedanță și admitanță ceea ce a condus la creşterea preciziei

mecanismelor de poziționare. Deoarece simularea unui eveniment într-un mediu presupune doua etape distincte, detectarea unui contact şi mişcarea liberă în spaţiu, modul în care se face controlul mecanismului de poziționare presupune doua abordări diferite, controlul în impedanță atunci când este sesizat un contact în mediu sau controlul în admitanță atunci când nu există un retur de forță din mediu. Alegerea controlului in admitanta, in momentul lipsei unui eveniment in mediu virtual, in detrimentul unui control clasic in pozitie este justificata prin reducerea efectelor negative (perturbatii, necunoasterea mediului in care are loc miscarea, etc) cauzate de comutarea neutrosofica dintre legile de control. În cazul în care are loc controlul în admitanță, la apariţia unei eroare la detecția unui contact de către unul din senzorii de forță sau poziție sau la apariţia unor perturbaţi externe de comutare, legea de control în admitanţă în lipsa controlului în impedanță poate urmării traiectoria de mişcare a efectorului final din mediul virtual.

7.2. Contribuţii originale ale autorului

Cercetările realizate în cadrul acestei teze de doctorat au condus la dezvoltarea și implementarea unor soluții noi în ceea ce privește controlul mecanismelor de poziționare cu precizie ridicata, respectiv:

1. **S-a conceput, testat şi implementat o nouă metoda de control haptic a sistemelor mecanice de pozitionare cu precizie ridicata** prin interfațare cu retur de forță implementată în cadrul metodei de proiecție virtuală. Aceasta presupunea comutarea între legea de control în impedanță și cea în admitanță în funcție de modul în care se desfășoară mișcarea.

2. **S-a conceput o metodă originală care utilizează logica neutrosofică şi teoria DSm** în comutarea cu timp de raspuns mic între legile de control astfel încât să se realizeze controlul în timp real al mecanismelor de pozitionare. De asemenea, observatorii de poziție și forță utilizați ca intrări în sistemul decizional, caracterizează eficient mediul în care are loc mișcarea efectorului final.

3. **S-a realizat implementarea legilor de control haptic în admitanță și impedanță** în cadrul metodei proiecției virtuale care aduce robustețe și un plus de precizie metodei. Aceasta poate fi utilizată cu succes pentru numeroase aplicații robotice care presupun cunoșterea mediului atât din punct de vedere vizual și auditiv dar și din punctul de vedere al returului de forță.

4. **S-au conceput, dezvoltat, realizat si testat sistemul de control haptic al mecanismelor de pozitionare cu precizie ridicata** prin proiectarea mecanismului în AutoDesk Inventor, modelările legilor de control și simulările sistemului folosind Matlab Simulink, programe de dezvoltare 20 SIM pentru grafurile Bond, librăria de funcții SimMechanics pentru importarea din Inventor cu ajustarea structurii mecanice, dezvoltarea funcțiilor de control în Codesys respectiv Syconet pentru comunicarţii în vederea realizari testarilor şi experimentărilor, toate acestea contribuind la obținerea unor performanțe ridicate în domeniul controlului mecanismelor de poziționare cu precizie ridicata.

5. **S-au realizat numeroase experimente virtuale** pentru testarea performantelor legilor de control a platformei de simulare al sisteme de pozitionare cu precizie ridicata cu interfeţe haptice care constau în:

- ajustarea optimă a parametrilor legilor de control printr-o solutie inovativa proprie
- modelarea contactului dintre efectorul final și obstacol
- stabilitatea unui robot pășitor cu segmente extensibile
- testarea calculului cinematic invers prin folosirea jacobianului transpus și a rețelelor neuronale și alegerea soluției optime
- testarea diferitelor soluții pentru modelarea parametrilor dinamici prin ecuații Newton Euler sau modelare AutoDesk Inventorși alegerea soluției optime
- caracterizarea contactului dintre mecanismul de poziționare și obiect, testarea soluției optime de compensare a parametrilor dinamici

6. **S-au realizat experimentări** folosind un stand de teste prin care s-a demonstrat îmbunătăţirea performanţelor de precizie, stabilitate şi robusteţe a legilor de control haptic a mişcării mecanismelor de poziţionare, comparativ cu rezultatele obţinute prin experimentare virtuală.

7. **S-au realizat şi implementat pe standul experimental**:

- programele de comunicaţie prin intermediul reţelei Ethernet şi a protocolului UDP;
- funcţiile de calcul şi relaţiile matematice a controlului în timp real al motoarelor controlate, utilizate în standul de simulare realizat;
- configurarea corespunzătoare a automatelor programabile şi a convertizoarelor de frecvenţă pentru a controla în mod corespunzător motoarele care simulează articulaţiile robotului mobil păşitor.

7.3. Rezultate obţinute şi diseminarea rezultatelor

Pe baza rezultatelor cercetărilor realizate, autorul a elaborat, susţinut şi publicat un număr de 24 lucrări ştiinţifice în domeniul tezei. Din totalul lucrărilor, 7 au fost publicate ca prim autor în cadrul unor manifestări ştiinţifice naţionale şi internaţionale de prestigiu precum şi în reviste de specialitate, doua lucrari in revista

indexata ISI din care una cu factor de impact 0,849, şapte lucrări publicate indexate ISI Proceedings, trei lucrari publicate in reviste BDI din care două lucrări în revista Revue Roumaine Des Sciences Techniques - Série de Mécanique Appliquée a Academiei Române, 8 lucrări în conferinţe organizate sub egida Academiei Române. Vizibilitatea cercetărilor este dovedită prin publicarea în comun a numeroase lucrări cu autori din ţară şi străinătate respectiv Prof. Hongnian Yu de la Universitatea Bournemouth UK, Prof. Mingcong Deng de la Tokyo University of Agriculture and Technology Japonia, Prof. Radu Ioan Munteanu, de la Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca.

Multe dintre rezultate au fost valorificate prin contracte de cercetare la care autorul a participat dar şi prin brevete de invenţie acordate echipelor de cercetare din care am facut parte.

Nivelul ştiinţific ridicat al cercetărilor efectuate a fost accentuat prin colaborări internaţionale în cadrul proiectului european FP7, IRSES, RABOT „Real-time adaptive networked control of rescue robots" cu Bournemouth University din UK, coordonator de proiect, partenerii de proiect Staffordshire Universitz din UK, Shanghai Jiao Tong University China, Institute of Automation Chinese Academy of Sciences China, Yanshan University din China, în care am participat ca membru in în echipa Prof. Vadareanu, coordonator IMSAR.

De remarcat participarea în echipa de cercetare a proiectului „Cercetări fundamentale şi aplicative pentru controlul hibrid forţă-poziţie al roboţilor păşitori modulari în sisteme cu arhitectură deschisă", din programul de cercetare fundamentala programul PNII "Cercetari exploratorii" - IDEI, ID 005/2007-2010, finanţat de ANCS. Pornind de la acest proiect, prin activitatea depusa, am contribuit la realizarea propunerii de proiect coordonata de Prof. Vladareanu, "Platforma robot versatile, inteligenta, portabila cu sisteme de control în reţele adaptive pentru roboţi de salvare " VIPRO, ID2009-2014-2016, finanţată de UEFISCDI, care imi va permite in viitor dezvoltarea metodelor de control haptic prezentate in teză.

Caracterul inovativ a fost evidenţiat în teză prin utilizarea Logicii Neutrosofice, fondată de Profesor Florentin Smarandache şi a teoriei Dezert-Smarandache la controlul haptic al sistemelor mecanice de poziţionare cu precizie ridicata cu implementarea conceptului prin participarea în contractul de co-tutelă dintre Prof. Florentin Smarandache de la Universitatea New Mexico Gallup-SUA şi Prof. Luige Vlădăreanu de la Institutul de Mecanica Solidelor al Academiei Române.

Rezultatele obţinute, superioare unor cercetări actuale publicate în reviste recunoscute, indexate BDI sau ISI, sunt relevate în prezenta lucrare prin conceptele originale, validate prin simulari şi experimentări, recunoscute pe plan naţional şi internațional prin publicarea rezultatelor cercetărilor în conferinţe internaţionale la Corfu, Paris, Penang- Malaezia, Bucureşti, în reviste indexate în BDI și ISI, dar și prin premii naţionale şi internaţionale, medalii de aur acordate la Expoziţiile Internaţionale din Zagreb 2008, Geneva 2010, Moscova 2010, Bucureşti 2010, Varşovia 2009.

8. Bibliografie (selectivă)

[1] R.C. Goertz, Fundamentals Of General-Purpose Remote Manipulators, Nucleonics 10(11), 1952, 36-42.

[2] T.B. Sherindan, W.R. Ferell, Remote Manipulative Control With Transmission Delay, IEEE Trans. Hum. Factors Electron. 4, 25-29 (1963)

[3] J. Vertut, P. Coiffet, Teleoperation And Robotics: Evolution And Development, Robot Technol., vol.3A (Hermes, Oslo 1985).

[4] A.K. Bejczy, Towards Advanced Teleoperation In Space. In, Teleoperation and Robotics in Space, Prog. Astronaut. Aeronaut., Vol.161, ed. By S.B. Skaar, C.F. Ruoff (American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston 1994) pp. 107-138.

[5] G. Hirzinger, B. Brunner, J. Dietrich, J. Heindl, Snsor-Based Space Robotics-ROTEX And Its Telerobotic Features, IEEE Trans. Robot. Autom. 9(5), 649-663 (1993).

[6] J. Marescaux, J. Leroy, F. Rubino, M. Vix, M.Simone, D. Mutter, Transcontinental Robot Assisted Remote Telesugery, Feasibility And Potential Applications, Ann.Surg. 235, 487-492(2002)

[7] Ernur Karadogan, Robert L. Williams II, Haptic modules for palpatory diagnosis training of medical students, Virtual Reality, Virtual Reality (2013) 17, pg. 45–58, DOI 10.1007/s10055-013-0220-2.

[8] Jean Simard, Mehdi Ammi, Haptic interpersonal communication: improvement of actions coordination in collaborative virtual environments, Virtual Reality (2012) 16, 173–186, DOI 10.1007/s10055-011-0201-2.

[9] Xiyuan Hou • Olga Sourina, Stable adaptive algorithm for Six Degrees-of-Freedom haptic rendering in a dynamic environment, Vis Comput DOI 10.1007/s00371-013-0838-9

[10] Jonatan Martínez, Arturo S. García, José P. Molina Diego Martínez, Pascual González, An empirical evaluation of different haptic feedback for shape and texture recognition, Vis Comput (2013)29, pg 111–121 DOI 10.1007/s00371-012-0716-x.

[11] Filipe Herkenhoff Carijó, Maria Clara de Almeida, Virgínia Kastrup, On haptic and motor incorporation of tools and other objects, Phenom Cogn Sci DOI 10.1007/s11097-012-9269-8 (2012).

[12] Jacopo Aleotti, Stefano Caselli, Grasp programming by demonstration in virtual reality with automatic environment reconstruction, Virtual Reality (2012) 16, pg 87–104, DOI 10.1007/s10055-010-0172-8.

[13] Michel Taïx, David Flavigné, Etienne Ferré, Human Interaction with Motion Planning Algorithm, Journal of Intelligent Robot Systems (2012) 67, pg. 285–306, DOI 10.1007/s10846-012-9659-8

[14] Leonel Rozo, Pablo Jiménez, Carme Torras, A robot learning from demonstration framework to perform force-based manipulation tasks, Intelligent Serv Robotics (2013) 6, pg. 33–51, DOI 10.1007/s11370-012-0128-9.

[15] Luige Vladareanu, Octavian Melinte, Adrian Bruja, Shuang Cang , Hongnian Yu, Hongbo Wang, Xiaojie Wang, Zeng-Guang Hou, Xiao-Liang Xie, Haptic interfaces for the rescue walking robots motion in the disaster áreas, UKACC International Conference on Control (CONTROL 2014).

[16] Xiaojie Wang, Xiaoyun Wang, Hongnian Yu, Hongbo Wang, Ling Lu, Luige Vladareanu and Octavian Melinte, Dynamic Analysis for the Leg Mechanism of a Wheel-Leg Hybrid Rescue Robot, UKACC International Conference on Control (CONTROL 2014).

[17] Ionel Alexandru GAL, Radu Ioan MUNTEANU, Octavian MELINTE, Luige VLADAREANU, A New Approach of Sliding Motion Robot Control using Bond Graph", The 8th International Symposium - Advanced Topics in Electrical Engineering, Bucharest, 23-25 Mai 2013.

[18] Octavian MELINTE, Radu I. MUNTEANU, Alexandru I. GAL, Luige VLĂDĂREANU, Compensating Dynamics of Impedance Haptic Devices Using Neural Networks, The 8th International Symposium On Advanced Topics In Electrical Engineering, May 23-25, 2013.

[19] R.I. Munteanu, G. Tont, V. Vladareanu, D. Perpelea, Alexandru Gal, Octavian Melinte, The PLC Real Time Control in Solid Mechanics, The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics SISOM 2009 and Session of the Commission of Acoustics.

[20] Luige Vladareanu, Gabriela Tont, Ion Ion, Lucian M. Velea, Alexandru Gal, Octavian Melinte, Fuzzy Dynamic Modeling for Walking Modular Robot Contro", Proceedings of the 9th WSEAS International Conference on Applications of Electrical Engineering (AEE '10), Penang, Malaysia, March 23-25, 2010, pag:163-170, ISBN: 978-960-474-171-7, ISSN: 1790-2769.

[21] D. Dumitriu, L. Munteanu, C. Brisan, V. Chiroiu, R. V. Vasiu, O. Melinte, V. Vlădăreanu, On the continuum modeling of the tire/ road dynamic contact, CMES: Computer Modeling in Engineering and Sciences, Materials & Continua, 2013, vol. 94 (2), ISSN 1526-1492, IF 0,849.

[22] Vasiu R.-V., Melinte O., Vladareanu V., Dumitriu D., On the response of the car from road disturbances, Romanian Journal of Technical Sciences-Applied Mechanics, 58, 3, pp.x-xx, 2013, ISSN:0035-4074.

[23] Dumitriu D.N., Melinte O.D., Vladareanu V., Half-car vertical dynamics using CARSIM software, Acta Technica Napocensis, Series: Applied Mathematics and mechanics, 5x, III, pp.x-x, 2013, ISSN:1221-5872.

[24] Dumitriu D.N., Melinte O.D., Vladareanu V., Simularea interactiunii verticale dintre autovehicul si drum folosind CARSIM, A 37-a Conferinta Nationala de Mecanica Solidelor, Acustica si Vibratii CNMSAV XXXVII-Vol.I, Chisinau, 6-8 iunie 2013, pp. 81-87, ISBN 978-9975-4241-3-4.

[25] Octavian D. MELINTE, Dan N. DUMITRIU, CARSIM software simulations of half-car vertical 2D dynamics and vehicle suspension behavior, The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics SISOM 2013, Bucharest, 21-22 May 2013.

[26] Luige Vladareanu, Octavian Melinte, Dynamic Force-Position Control of the Walking Robots Motion on Slope, International Conference on Optimisation of the Robots, Manufacturing Systems and Aerospace, Mamaia, 21-23 Iunie 2012, : Applied Mathematics and Mechanics

[27] Octavian Melinte, The Haptic Impendance Control through Virtual Environment Force Compensation, Proceedings of the 15th WSEAS International Conference on Systems (part of the 15th WSEAS CSCC multiconference), Recent Researches in System Science, Corfu Island, Greece, July 14-16, 2011, pag: 381-385, ISBN: 978-1-61804-023-7, ISSN: 1792-4235.

[28] Octavian Melinte, Alexandru Gal, Bond graph modelling for haptic interface robot control, Proceedings of the European Computing Conference (ECC '11), Paris, France, April 28-30, 2011, pag: 364-369, ISBN: 978-960-474-297-4;

[29] Octavian MELINTE, Mihai Stelian MUNTEANU, Intelligent methods for compensating dynamics of impedance haptic devices, , The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics SISOM 2013, Bucharest, 21-22 May 2013.

[30] Octavian MELINTE, Luige VLADAREANU, Alexandru GAL „ Performances of a haptic device when compensating for dynamic parameters", SISOM 2012 and Session of the Commission of Acoustics, Bucharest 25-26 May 2012, L.

[31] Alexandru GAL, Octavian MELINTE, Luige VLADAREANU „PID sliding motion control by using fuzzy adjustment”, SISOM 2012 and Session of the Commission of Acoustics, Bucharest 25-26 May 2012

[32] Octavian Melinte, Luige Vladareanu, Alexandru Gal „Imbunatatirea Stabilitatii Robotului Pasitor cu Dimensiuni Variabile”, Proceedings of the XXIst SISOM, Bucuresti 27-28 Mai 2010, ISSN 2068-0481.

[33] Luige Vladareanu, Gabriela Tont, Victor Vlădăreanu, Florentin Smarandache, Lucian Capitanu, “The navigation mobile robot systems using Bayesian approach through the virtual projection method”, Advanced Mechatronic Systems.

[34] Victor Vladareanu, Gabriela Tont, Luige Vladareanu, Florentin Smarandache, “The navigation of mobile robots in non-stationary and non-structured environments”, Inderscience Publishers, Int. J. Advanced Mechatronic Systems, Vol. 5, No. 4, 2013, pg.232- 243, ISSN: 1756-8420/ISSN 1756-8412, ERA_ID 41210.

[35] Vladareanu Luige, Lucian M. Velea, Radu Ioan Munteanu, Adrian Curaj, Sergiu Cononovici, Tudor Sireteanu, Lucian Capitanu, Mihai Stelian Munteanu, Real time control method and device for robot in virtual projection, EU patent no. EPO-09464001, 18.05.2009, OSIM 123527/30.04.2013.

[36] Charles Ashbacher, Introduction to neutrosophic logic, American Research Press Rehoboth, 2002, ISBN: 1-931233-60-8.

[37] Haibin Wang, Florentin Smarandache, Yan-Qing Zhang, Rajshekhar Sunderraman, Interval Neutrosophic Sets and Logic: Theory and Applications in Computing, Hexis, 2005, ISBN: 1-931233-94-2.

[38] Florentin Smarandache & Jean Dezert, Advances and Applications of DSmT for Information Fusion, American Research Press, 2004, ISBN: 1-931233-8-9.

[39] Octavian Melinte, Luige Vladareanu, Alexandru Gal „Imbunatatirea Stabilitatii Robotului Pasitor cu Dimensiuni Variabile”, Proceedings of the XXIst SISOM, Bucuresti 27-28 Mai 2010, ISSN 2068-0481.

[40] D. Dumitriu, L. Munteanu, C. Brisan, V. Chiroiu, R. V. Vasiu, O. Melinte, V. Vlădăreanu, On the continuum modeling of the tire/ road dynamic contact, CMES: Computer Modeling in Engineering and Sciences, Materials & Continua, 2013, vol. 94 (2), ISSN 1526-1492, IF 0,849.

[41] Vasiu R.-V., Melinte O., Vladareanu V., Dumitriu D., On the response of the car from road disturbances, Romanian Journal of Technical Sciences-Applied Mechanics, 58, 3, 2013, ISSN:0035-4074.

[42] Dumitriu D.N., Melinte O.D., Vladareanu V., Half-car vertical dynamics using CARSIM software, Acta Technica Napocensis, Series: Applied Mathematics and mechanics, 5x, III, 2013, ISSN:1221-5872.

[43] Luige Vladareanu, Victor Vladareanu, Paul Schiopu, “Hybrid Force-Position Dynamic Control of the Robots Using Fuzzy Applications”, Applied Mechanics and Materials Vol. 245 (2013) pp 15-23©(2013) Trans Tech Publications, Switzerland, ISSN print 1660-9336, web ISSN: 1662-7482, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.245.15.

[44] Luige Vladareanu, Ovidiu Ilie Sandru, Daniel Mitroi, Improvement of Dynamical Stability for the Real Time Walking Robot Control PERO, 4th International Conference on Finite Differences, Finite Elements, Finite Volumes, Boundary Elements (F-and-B ‘11), European Computing Conference (ECC ‘11), Paris, France, April 28-30, 2011, ISBN: 978-960-474-297-4.

[45] Vladareanu, L., Tont, G., Ion, I., Munteanu, M. S., Mitroi, D., "Walking Robots Dynamic Control Systems on an Uneven Terrain", Advances in Electrical and Computer Engineering, ISSN 1582-7445, e-ISSN 1844-7600, vol. 10, no. 2, pp. 146-153, 2010, doi: 10.4316/AECE.2010.02026.

[46] L.Vlădăreanu, A.Curaj, R.I.Munteanu, Complex Walking Robot Kinematics Analysis And Plc Multi-Tasking Control, Revue Roumaine des Sciences Techniques – Série Électrotechnique et Énergétique, 2011, 10 pag.), ISSN 0035-4066.

[47] Luige Vlădăreanu, Gabriela Tonţ, Ion Ion, Victor Vlădăreanu, Daniel Mitroi, Modeling and Hybrid Position-Force Control of Walking Modular Robots, Proceedings of American Conference on Applied Matematics(AMERICAN-MATH ’10), ISBN: 978-960-474-150-2, ISSN: 1790-2769, pp.510-518, 10 pg, Harvard University, .Cambridge, USA, January, 27-29, 2010.

[48] Vladareanu Luige, Schiopu Paul, Vladareanu Victor ,“Extenics Theory Applied to Robotics”, Proceedings of the 4th European Conference for the Applied Mathematics and Informatics (AMATHI '13), Plenary lecture: The 4th European Conference for the Applied Mathematics and Informatics (AMATHI '13), Dubrovnik, Croatia, June 25-27, 2013, book: Mathematical Applications in Science and Mechanics, pg. 217-224, ISBN: 978-960-474-305-6, ISSN: 2227-4588.

[49] O.I.Sandru, L.Vladareanu, A.Sandru, Grasping objects with mobile robots, Proceedings of the 9th International Conference on Applications of Electrical Engineering (AEE’10), Penang, Malaysia, pp. 210-215, 2010, ISSN: 1790-5117, ISBN: 978-960-474-171-7.